

RESTAURACIÓN ECOLÓGICA: BIODIVERSIDAD Y CONSERVACIÓN

Ecological Restoration: Biodiversity and Conservation

ORLANDO VARGAS RÍOS¹, M.Sc.

¹ Grupo de Restauración Ecológica, Departamento de Biología,
Universidad Nacional de Colombia. jovargasr@unal.edu.co

Presentado el 8 de febrero de 2011, aceptado 2 de junio de 2011, correcciones 1 de julio de 2011.

Trabajo presentado como parte de la Cátedra José Celestino Mutis de Biodiversidad, Bogotá, 2010.

RESUMEN

En este ensayo se compilan los principales conceptos y métodos aplicados en el desarrollo de proyectos de restauración ecológica, haciendo énfasis en la relación entre conservación, biodiversidad y restauración. El trabajo se inicia con las definiciones más comunes y de fácil comprensión y continúa con la explicación de los pasos principales a tener en cuenta en el desarrollo de proyectos de restauración ecológica. Los pasos que se presentan son los más comunes en casi todos los procesos de restauración, pero su aplicación total depende del estado de degradación del ecosistema que se va a restaurar.

Palabras clave: manejo de ecosistemas, sucesión ecológica, restauración de la biodiversidad.

ABSTRACT

In this essay the principal concepts and methods applied on projects aimed at ecological restoration are reviewed, with emphasis on the relationship between conservation, biodiversity and restoration. The most common definitions are provided and the steps to take into account to develop projects on ecological restoration, which will be determined by the level of degradation of the ecosystem to be intervened.

Key words: Ecosystem management, ecological succession, biodiversity restoration

INTRODUCCIÓN

La degradación y destrucción de muchos ecosistemas en el mundo, ha acelerado la crisis ambiental debido a la reducción rápida de los múltiples servicios ambientales que prestan los ecosistemas, como producción de agua, fijación de CO₂, ciclos de materia, productividad del suelo, biodiversidad, coberturas que previenen erosión, etc. Las tasas de destrucción de todos los ecosistemas continúan ocurriendo apresuradamente, debido a prácticas agrícolas, ganaderas, industriales y de explotación no sostenibles, con el agravante que muchos ecosistemas tendrán variaciones desfavorables para la humanidad con el cambio climático global.

Ante esta situación, el manejo de ecosistemas a través de conservación y restauración ecológica toma fuerza cada día como solución para revertir procesos de degradación de ecosistemas y pérdida acelerada de biodiversidad. Ya no basta conservar y proteger áreas representativas, sino que se debe aprender a restaurar paisajes, ecosistemas, comunidades y poblaciones de plantas y animales, para garantizar sustentabilidad de sistemas naturales, seminaturales y sociales en grandes extensiones, y de esta forma garantizar la disponibilidad de servicios ambientales regionales, los cuales mantienen las economías funcionando. El aumento de desastres por inundaciones, derrumbes, deslizamientos de tierra se debe a la pérdida de servicio ecosistémico de coberturas vegetales en laderas. Ecosistemas como los páramos son vitales para el mantenimiento de economías regionales por la producción de agua para agricultura y bienestar humano de alta calidad.

La relación entre conservación, biodiversidad y restauración ecológica es cada día más evidente. El funcionamiento de los ecosistemas solo se puede mantener en tiempo y espacio con altos valores de biodiversidad y la restauración ecológica solo es posible si se conservan grandes extensiones de ecosistemas originales en donde se expresa todo el potencial de especies a escala local y regional. La conservación de ecosistemas y restauración de la biodiversidad van de la mano. Colombia, como país megadiverso, tiene gran responsabilidad en la conservación y restauración de su biodiversidad.

RESTAURACIÓN ECOLÓGICA: DEFINICIÓN

Antes de llegar a una definición de restauración ecológica es necesario mencionar algunos conceptos fundamentales para su comprensión:

- Un ecosistema es un área de tamaño variable, con estrecha relación o asociación de sus componentes físicos (abióticos) y biológicos (bióticos), organizado de manera tal que al cambiar un componente, o subsistema, se comprometen los otros y en consecuencia el funcionamiento de todo el ecosistema.
- Los ecosistemas son dinámicos, cambian como resultado de factores internos y externos dicha dinámica se conoce como sucesión ecológica.
- Los ecosistemas se recuperan por sí solos cuando no existen o se eliminan tensionantes o barreras que impidan su regeneración, en un proceso conocido como restauración pasiva o sucesión natural. Es por esto que una de las primeras acciones para recuperar un ecosistema es retirar factores que impiden la expresión de mecanismos de regeneración natural.
- Cuando los ecosistemas están muy degradados o destruidos, han perdido sus mecanismos de regeneración y en consecuencia es necesario asistirlos, en lo que se denomina restauración activa o asistida (sucesión dirigida o asistida). La restauración activa implica, que con intervención humana, se ayude al ecosistema para superar tensionantes que impiden la regeneración y garantizar el desarrollo de procesos de recuperación.
- La capacidad de restaurar un ecosistema depende de gran cantidad de conocimientos, como por ejemplo: estado del ecosistema antes y después del disturbio, grado de alteración de la hidrología, geomorfología y suelos, causas por las cuales se generó el daño, estructura, composición y funcionamiento del ecosistema preexistente, información acerca de condiciones ambientales regionales, interrelación de factores de carácter ecológico, cultural e histórico: es decir la relación histórica y actual entre el sistema natural

y el sistema socioeconómico, disponibilidad de la biota nativa necesaria para la restauración, los patrones de regeneración, o estados sucesionales de las especies (por ejemplo, estrategias reproductivas, mecanismos de dispersión, tasas de crecimiento y otros rasgos de historia de vida o atributos vitales de las especies), tensionantes que detienen la sucesión y el papel de la fauna en los procesos de regeneración.

- La restauración ecológica a escala de paisaje debe ser prioridad, pues el mantenimiento de la biodiversidad se expresa a grandes escalas. Si se quiere restaurar biodiversidad y todo su potencial de regeneración es necesario aprender a manejar paisajes.
- El éxito en la restauración también dependerá de costos, de las fuentes de financiamiento y voluntad política de las instituciones interesadas en la restauración; pero ante todo de la colaboración y participación de las comunidades locales en los proyectos.

¿CÓMO EMPEZAR UN PROCESO DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA?

Al escoger un área para restaurar se presentan gran variedad de factores, tanto naturales como sociales, de los cuales dependerán las estrategias para restaurar, las cuales serán diferentes para cada sitio dentro de un mismo ecosistema; por ejemplo, sectores muy cercanos unos de otros podrían tener una historia de transformación y de uso actual muy diferente, como es el caso de áreas sometidas a agricultura y/o pastoreo, con plantaciones forestales con especies exóticas, áreas con especies invasoras, áreas quemadas y/o pastoreadas, o erosionadas y utilizadas para minería. En este tipo de sectores se presenta gran heterogeneidad ambiental y una historia de uso difícil de reconstruir. Otras áreas, también muy difíciles de restaurar son aquellas que no presentan relictos o fragmentos del ecosistema original.

Aunque no existen recetas para restaurar un ecosistema, por la particularidad intrínseca de cada sitio, si existen recomendaciones generales basadas en las teorías y conceptos de la ecología de la restauración y en las experiencias acumuladas en los intentos de restaurar diferentes ecosistemas en el mundo.

Preguntas centrales durante el proceso de restauración ecológica:

- ¿Cómo establecer el tipo de ecosistema que se va a restaurar?
- ¿Cuáles son los conocimientos básicos sobre el sitio que se va a restaurar?
- ¿Cuáles son los factores tensionantes para la restauración que impiden la regeneración natural de los sitios a restaurar?
- ¿Cómo se pueden superar estos tensionantes?
- ¿Qué variables se pueden monitorear, para saber si la restauración se está desarrollando?
- ¿Cómo garantizar la continuidad de un proceso de restauración?

A continuación se recomiendan 13 pasos a tener en cuenta en un proyecto de restauración ecológica. No se trata de una receta para restaurar, sino de una forma de pensar la complejidad y particularidad de los sitios a restaurar. Los pasos propuestos no necesariamente se deben seguir en el mismo orden, ni es necesario aplicarlos todos. Qué pasos aplicar depende de la particularidad de los sitios, el grado de alteración, de las escalas y los objetivos propuestos.

TRECE PASOS A TENER EN CUENTA EN LA RESTAURACION ECOLÓGICA

En la figura 1 se presenta la secuencia de los 13 pasos fundamentales en la restauración ecológica. La participación comunitaria es muy importante en todo el proceso de

restauración y el diseño de estrategias se va retroalimentando con los conocimientos derivados de los pasos 6 a 10.

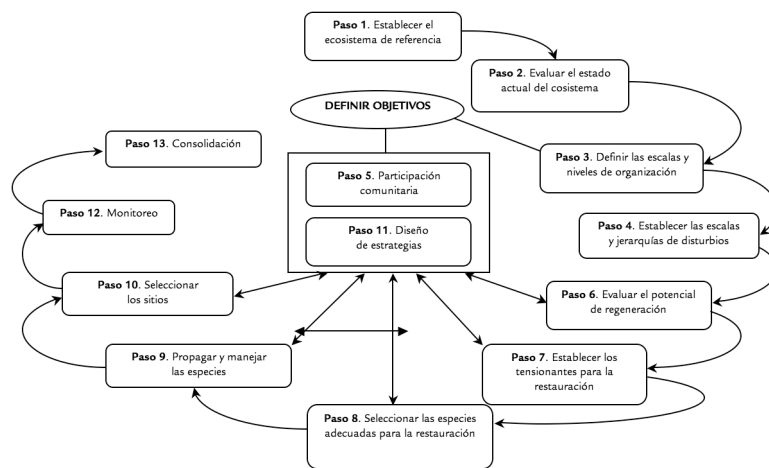


Figura 1. Secuencia y relaciones de los 13 pasos fundamentales en la restauración ecológica (Vargas, 2007).

Paso 1. Definir el ecosistema de referencia. El ecosistema de referencia sirve de modelo para planear un proyecto de restauración y más adelante, para su evaluación. No siempre es fácil identificar este referente pero la reconstrucción con base en la información de diferentes fuentes, puede dar mayor certeza de las condiciones previas anteriores a los disturbios. A continuación se presentan seis recomendaciones para establecer el ecosistema de referencia (SER, 2004; Vargas, 2007) con ejemplos para Colombia:

- a. **Descripciones ecológicas y listas de especies antes de la perturbación.** Para el caso de Colombia las revistas más importantes a tener en cuenta, son: Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas Físicas y Naturales, Revista Caldasia del Instituto de Ciencias Naturales de la Universidad Nacional de Colombia y Acta Biológica Colombiana. Sistemas de Información Geográfica y Biológica como el Sistema Nacional Ambiental (SINA) y Sistema de Información sobre Biodiversidad de Colombia (SiB).
- b. **Fotografías históricas y recientes, tanto aéreas como terrestres y mapas del sitio del proyecto antes del daño.** Buscar series de fotografías aéreas (Instituto Geográfico Agustín Codazzi) para estudiar la transformación del ecosistema y buscar relictos del ecosistema de referencia. Otras fuentes de información son IDEAM e INGEOMINAS.
- c. **Remanentes del sitio que se ha de restaurar que indiquen las condiciones físicas anteriores y la biota.** En los paisajes aun quedan relictos o parches de la vegetación original, que pueden indicar trayectorias sucesionales posibles del ecosistema original y que tienen una muestra importante de las especies sucesionales tempranas y tardías del ecosistema original.
- d. **Descripciones ecológicas y listas de especies de ecosistemas similares e intactos.** Con base en la información de especímenes de herbario y museos. Los herbarios de Colombia, principalmente del Herbario Nacional Colombiano (COL) y los herbarios

regionales como el herbario amazónico (SINCHI), PSO (Pasto) CAUP (Popayán), CUVIC (Cali), LLANOS (Villavicencio), HUA (Antioquia), COAH (Bogotá), JAUM (Antioquia), FMB (Villa de Leiva), porque albergan mucha información sobre especies y su distribución. Adicionalmente la información proveniente de los institutos de investigación como: Instituto de Ciencias Naturales (ICN), Instituto Alexander Von Humboldt (IAvH), Instituto de Estudios Ambientales y Meteorología (IDEAM), Instituto de Investigaciones del Pacífico (IIAP), Instituto de Investigaciones Amazónicas (SINCHI) e Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras (INVEMAR).

- e. **Versiones históricas e historias orales de personas familiarizadas con el sitio del proyecto antes del daño.** Los cronistas de Indias, los viajeros y naturalistas, la Expedición Botánica, la Comisión Corográfica aportan muchos datos interesantes sobre distribución de plantas, que pueden ayudar a establecer tipos de vegetación que existieron en un lugar determinado. La reconstrucción por tradición oral, cuando es relativamente reciente, es una gran fuente de información de especies y su distribución.
- f. **Evidencias paleoecológicas.** En Colombia gracias a los trabajos del Dr. Thomas van der Hammen y colaboradores, se tiene una muy buena bibliografía de la historia de clima y vegetación de casi todos los grandes biomas (véase por ejemplo van der Hammen, 1992 y las publicaciones de la serie El Cuaternario de Colombia).

Cuando un ecosistema está muy alterado y es muy difícil tomar como referencia del original, es recomendable elegir como ecosistema de referencia una trayectoria sucesional, dentro del potencial de trayectorias posibles que ofrece un paisaje. Generalmente estas trayectorias combinan especies sucesionales tempranas con sucesionales tardías.

Paso 2. Evaluar el estado actual del ecosistema. Se hace una evaluación de las condiciones previas y actuales del ecosistema. En esta fase se empieza a tener evidencia del problema para poder precisar posteriormente los objetivos de restauración.

Recomendaciones para evaluar los atributos del estado actual del ecosistema:

Condiciones del paisaje

- Ubicación de relictos o parches del ecosistema original.
 - Número de parches, tamaño, forma, conectividad.
- Tipos de usos de la tierra donde se encuentran los relictos (potreros, cultivos, plantaciones). Usos de la tierra en un ciclo anual y su relación con las áreas a restaurar.

Condiciones bióticas

- Tipos de comunidades: composición de especies, dinámica de la vegetación (tipos de sucesiones ecológicas: herbáceas, arbustivas, arbóreas), estratificación.
- Ubicación de poblaciones de especies sucesionales tempranas y tardías.
- Fauna dispersora de semillas.

Condiciones abióticas

- Estado de suelo y agua: valoración fisicoquímica, contaminación, erosión, niveles freáticos.
- Hidrología y geomorfología: flujo de agua superficial, hidrodinámica estacional, cambios en niveles freáticos, acumulación de sedimentos, tipos de pendientes.
- Clima regional: distribución de las precipitaciones, duración de la estación seca, fluctuaciones diarias de las temperaturas, frecuencia de heladas.

Paso 3. Definir las escalas y niveles de organización. Los proyectos de restauración ecológica abarcan diferentes niveles de organización, desde poblaciones de especies y comunidades a ecosistemas o paisajes (Ehrenfeld, 2000; Lake, 2001). En cada nivel se definen objetivos de trabajo diferentes y consecuentemente los procesos críticos que se deben tener en cuenta para la restauración cambian según la escala y el nivel de análisis. Para definir los objetivos de un proyecto de restauración es necesario primero precisar escalas y su relación con niveles de organización.

- **Escala local y nivel de especie.** Esta aproximación pretende la recuperación de poblaciones de una especie en particular tratando de recrear su hábitat. La ventaja de esta aproximación es que posee un objetivo muy claro: el rescate mismo de la especie (Ehrenfeld, 2000). Las especies clave deben ser prioridad, pues de ellas depende la persistencia de gran cantidad de organismos. En algunos proyectos es necesario iniciar experiencias a una escala de parcela, principalmente en el caso de plantas.
- **Escala local y nivel de comunidad.** La restauración de esta hace énfasis en el restablecimiento de la comunidad original, especialmente con fines de preservación de comunidades raras o en peligro de extinción, o la restauración de trayectorias sucesionales de especies pioneras. La restauración de comunidades constituye el enfoque primario de una parte importante de los esfuerzos de restauración en la actualidad (Ehrenfeld, 2000), para lo cual la teoría de la sucesión ecológica y su aplicación son la base para la restauración ecológica. Cuando es necesario hacer experimentos, haciendo combinación de especies, es necesario trabajar a escala de parcela con diseños de tratamientos.
- **Escala regional o nivel ecosistémico.** En la actualidad la escala que se recomienda para establecer los objetivos para la restauración es la regional a nivel de ecosistema. En este caso el objetivo de la restauración es la recuperación de algunas funciones del ecosistema. Esta visión implica que lo que se debe retornar a su estado predisturbio son las condiciones ecológicas que garantizan la recuperación de la composición, estructura y función del ecosistema, integrando procesos a gran y pequeña escala (Herrick *et al.*, 2006). La perspectiva ecosistémica posee la ventaja que permite visualizar todos los procesos fundamentales de funcionamiento de un ecosistema, especialmente en los ligados a las sucesiones naturales (Cairns, 1987) y la restauración de la biodiversidad regional.
- **Escala de paisaje.** La restauración a escala de paisaje implica la búsqueda de la reintegración de ecosistemas fragmentados y paisajes más que el enfoque sobre un único ecosistema. De hecho, aún si el objetivo de la restauración es planteado a escala ecosistémica, se requiere una visión del proceso a una escala de paisaje, puesto que las funciones ecosistémicas están relacionadas con flujos de organismos, materia y energía entre las diferentes unidades del paisaje (SER, 2004). Sin embargo, para la mayoría de los paisajes un retorno completo a la situación histórica es poco probable, dado el cambio constante de los procesos que definen el desarrollo de comunidades y ecosistemas (van Diggelen *et al.*, 2001). Sin embargo, lo más importante es avanzar en la comprensión de la estructura del paisaje y su biodiversidad y heterogeneidad espacial para recuperar grandes parches de ecosistemas que mantengan biodiversidad a escala regional y del paisaje.

Definición de objetivos. A partir del paso 3 se van precisando los objetivos del proyecto de restauración y sus escalas. Se va definiendo el estado deseado dentro de las trayectorias sucesionales posibles del ecosistema. Cuando el proyecto es de escala regional es importante para definir los objetivos que inicien activamente su participación las comunidades locales.

Los objetivos se deben establecer con mucha claridad para lograr que el proyecto tenga éxito en términos de efectividad y costos. Se debe estar seguro del tipo de influencias externas que pueden afectar el desarrollo del proyecto. Un aspecto importante para la definición de los objetivos se relaciona con el presupuesto destinado para el desarrollo del proyecto de restauración, porque de estos recursos depende la extensión del área a intervenir, el personal contratado para las diversas funciones, la cantidad de estrategias que puedan ser implementadas y el tiempo que dure la implementación, evaluación y monitoreo. Los presupuestos pueden variar dependiendo del objetivo de la restauración si solo se trata de una recuperación o rehabilitación, lo que implica menos inversión, para rescatar el ecosistema con toda su estructura y funcionalidad.

En algunos proyectos es necesario hacer investigación básica, la cual hay que tener en cuenta en los costos. En otros proyectos es necesario contratar muchos jornales para la siembra de especies, remoción de plantas invasoras y adecuación de las áreas, construcción y mantenimiento de viveros para la propagación y crecimiento de plantas nativas. En general hay que tener en cuenta los costos de personal, pago de jornales, compra de materiales, construcciones si son necesarias y pago de transportes. Es muy importante poder evaluar la relación costo-efectividad de diferentes técnicas de restauración.

Paso 4. Establecer las escalas y jerarquías de disturbio. Todos los ecosistemas están sujetos a un régimen de disturbios naturales y antrópicos, la combinación de estos establece una dinámica espacial y temporal en los paisajes (Pickett y White, 1985; Collins, 1987). Por ejemplo, algunos ecosistemas presentan un régimen de disturbio complejo que incluye fuego, pastoreo y disturbio del suelo por animales; cada uno de los cuales difiere en escala, frecuencia e intensidad.

Los disturbios naturales principales son: deslizamientos, vulcanismo, huracanes, tormentas, lluvias y vientos fuertes, inundaciones, heladas, disturbios producidos por animales y fuegos naturales. Disturbios antrópicos se relacionan con ganadería y agricultura, minería, deforestación, quemas, la construcción de obras civiles (embalses, oleoductos y carreteras), explotación de especies, siembra de especies forestales exóticas, invasiones biológicas. La tabla 1 presenta los disturbios antrópicos y naturales más frecuentes en los ecosistemas colombianos.

Dimensión espacial y magnitud. La escala espacial se refiere a la extensión del disturbio, en términos de las dimensiones físicas de la zona afectada, expresadas en unidades de área o de volumen. La magnitud por su parte, se relaciona con la fuerza, intensidad o severidad del disturbio (Gleason-Lewin y van der Maarel, 1992).

Dimensión temporal. Incluye frecuencia y predictibilidad de la perturbación. En algunos casos, como por ejemplo los disturbios por fuego, la estación climática en que este ocurre también debe considerarse en esta dimensión. Según la frecuencia, los disturbios pueden clasificarse como raros, si ocurren en un tiempo menor al lapso de vida de las especies más longevas; o frecuentes, si ocurren muchas veces dentro del lapso de vida de las especies

Disturbios antrópicos	Ecosistemas terrestres	Ecosistemas de agua dulce	Ecosistemas costeros
Deforestación			
Sistemas de producción extensiva e intensiva (agricultura y ganadería)			
Potrerización			
Sistemas productivos forestales no sostenibles			
Invasiones biológicas			
Cultivos ilícitos			
Quemas			
Desecación de turberas			
Minería			
Contaminación			
Sobreexplotación de recursos biológicos			
Desarrollo industrial y urbanístico			
Modificación de regímenes hidrológicos			
Sedimentación			
Pesca con dinamita y/o red de arrastre			
Disturbios naturales			
Huracanes			
Terremotos y maremotos			
Fuegos			
Inundaciones			
Deslizamientos			
Vulcanismo			

Tabla 1. Principales disturbios antrópicos y naturales en los ecosistemas de Colombia.

menos longevas (Noble y Slatyer, 1980). En la mitad del espectro están los disturbios recurrentes, como fuegos, inundaciones, eventos climáticos extremos y ataque de plagas. Existen también disturbios continuos, como el pastoreo intensivo, los cuales suelen tener un impacto significativo sobre las comunidades, especialmente, sobre aquellos ecosistemas que no han evolucionado con esta perturbación como parte de su dinámica. A continuación se resaltan aspectos de los disturbios que afectan con mayor frecuencia los ecosistemas tropicales:

- **Deforestación:** en Colombia la deforestación es el principal disturbio antrópico que afecta a todos los ecosistemas terrestres y algunos costeros. Las actividades que mayor deforestación generan en los bosques tropicales son la extracción selectiva de maderas de gran valor económico, el establecimiento de sistemas de producción agrícolas y ganaderos y cultivos ilícitos, la explotación de minerales a cielo abierto, la expansión urbana, la construcción de obras de infraestructura, entre ellas carreteras y embalses, así como

la extracción de leña para combustible y cercas vivas, cuyo impacto es a menor escala que todas las anteriores (Etter, 1998; Kattan, 2002; Rodríguez-B. y van Hoof, 2004). En el caso específico de los bosques andinos se ha encontrado que han sufrido una transformación entre 70-93% desde el año 1800 hasta nuestros días; de una extensión potencial de 184.710 km² de bosques montanos se estima que únicamente persiste 10% (Cavelier, 1997; Rangel, 2000; Cavelier *et al.*, 2001). Algunos estimativos indican que en Colombia queda solo 10% de los bosques andinos originales y 5% de bosques altoandinos (Carrizosa-U, 1990).

- **Sistemas de producción extensiva e intensiva (agricultura y ganadería):** estas perturbaciones no solo tienen efectos puntuales en la composición, estructura y diversidad de biota y suelo, sino que alteran la dinámica hídrica, los flujos de nutrientes y la capacidad regenerativa natural de los ecosistemas, lo cual puede llevar a comunidades propias de sucesiones detenidas (sucesiones secundarias) o incluso desviadas (ecosistemas degradados), también producen compactación del suelo, lixiviación de nutrientes y pérdida de materia orgánica (Román-D. *et al.*, 2007).
- **Sistemas productivos forestales no sostenibles:** en Colombia se iniciaron las plantaciones forestales de especies introducidas, durante el período 1940 y 1996, como consecuencia de la política económica y ambiental, que buscaba convertir al país en una potencia forestal y utilizar las especies sembradas como estrategia en programas de reforestación (Mendoza y Etter, 2002).
- **Cultivos ilícitos:** coca (*Erythroxylon coca*) y marihuana (*Cannabis indica*) prosperan en zonas bajas con terrenos ondulados o quebrados, en altitudes comprendidas entre 500 y 1.500 m, mientras que la amapola (*Papaver somniferum*) suele desarrollarse en altitudes superiores a 2.000 m. El establecimiento de estos cultivos da lugar a la deforestación de grandes áreas, en donde se pierden enormes cantidades de biomasa de suelos que no tienen vocación agrícola y que son de mayor valor si están cubiertos por vegetación natural aumentando el riesgo de extinción de numerosas especies de fauna y flora (Díaz-P, 1998).
- **Potrерización:** es el reemplazo de bosques por potreros dominados por especies herbáceas exóticas. Esta matriz continua de pastos constituye una barrera física que impide la llegada de semillas dispersadas al suelo y su posterior implantación (Meli, 2003), se incrementa la depredación de semillas después de la dispersión (Holl, 1999) y se retarda la llegada de especies sucesionales tempranas y tardías (Klejin, 2003); el establecimiento de plántulas disminuye, dado que el crecimiento radicular se dificulta, desaparece el banco de plántulas, el banco de semillas y se afectan micorrizas del suelo esenciales para germinación y crecimiento de la mayoría de plantas vasculares (Aide y Cavelier, 1994).
- **Minería:** cuando la minería es efectuada, los ecosistemas retornan a una condición primaria muchas veces irreversible y se cambia en amplia escala la topografía e hidrología. La minería trae consigo cambios drásticos en la estructura del suelo por cuanto la maquinaria pesada empleada ejerce grandes presiones sobre este y es inevitable la compactación. Adicionalmente factores climáticos como viento y precipitación contribuyen aceleradamente al proceso de erosión. Los efectos producidos por la minería en los ecosistemas incluyen destrucción del paisaje, degradación del entorno visual, disturbios en cursos de agua, destrucción de tierras destinadas a la

agricultura y reserva forestal, daño de tierras con propósitos de recreación, ruido, polvo, tráfico de camiones y maquinaria pesada, sedimentación y erosión, hundimientos de tierra y vibración por explosiones.

- **Paramización:** es el fenómeno que se presenta cuando las especies de páramo que son altamente competitivas y que están restringidas a elevaciones mayores, ocupan niveles altitudinales inferiores a los que corresponden. Este fenómeno determina la aparición de enclaves o sectores situados dentro del dominio climático del orobioma de selva andina, donde el clímax boscoso original es substituído por etapas subseriales, cuya composición florística y fisionomía se asemejan a las que caracterizan el orobioma páramo (Hernández-C, 1997). Se presenta cuando el proceso de deforestación va acompañado por quemas repetidas, cultivos y potrerización (Vargas *et al.*, 2007; Velasco y Vargas, 2007). Los niveles actuales de paramización, impiden precisar los límites de los páramos climáticos, de los páramos antrópicos (Hernández-C, 1997; Luteyn, 1999; Rangel, 2000).
- **Exclusión del fuego:** en los ecosistemas de sabana la protección prolongada contra quemas puede tener efectos marcados sobre la diversidad de especies, contribuye al incremento de especies leñosas y favorece especies menos adaptadas a este disturbio natural, conduciendo en algunos casos a ecosistemas con una fisionomía más boscosa (Moreira, 2000).
- **Desertificación:** se refiere a la disminución o destrucción del potencial biológico de la Tierra, que puede desembocar definitivamente en condiciones de tipo desértico y constituye un aspecto del deterioro generalizado de los ecosistemas. La desertificación es originada e incrementada principalmente por actividades humanas (Velasco-M, 1991). Sus causas son variadas y con frecuencia están interconectadas entre ellas el sobrepastoreo, tala para uso de leña como combustible o para construcción, uso de técnicas inadecuadas de cultivo, manejo deficiente de irrigación, actividades de urbanización, construcción de vías y cambio climático. La salinización en particular usualmente da lugar a una disminución de la cobertura vegetal, pérdida de la superficie de suelo, reducción de infiltración y formación de cortezas duras en el suelo, las cuales incrementan el índice de erosión y reducen el establecimiento de plántulas (van der Berg y Kellner, 2004).

Paso 5. Consolidar la participación comunitaria. Como hemos mencionado la restauración ecológica es una actividad con diferentes escalas espaciales y temporales en las cuales los disturbios antrópicos juegan un papel importante en cualquier escala que se elija. La pérdida de servicios ambientales de los ecosistemas es también una preocupación de la gente en cualquier región y por consiguiente hay que tener en cuenta tanto el manejo regional como las necesidades de las comunidades locales. Por eso es muy importante que la gente participe activamente desde su formulación en los proyectos de restauración, lo que puede garantizar su continuidad y consolidación (Cano y Vargas, 2007). Es fundamental explorar la aceptabilidad que tendría el eventual programa de restauración en función del entorno socioeconómico que prevalezca en el área, con especial atención a las aspiraciones propias de las comunidades locales, en términos del futuro que desean. Los conocimientos que tienen las poblaciones humanas locales sobre su región, su historia de uso, la ubicación de las especies y en algunos casos su propagación son conoci-

mientos de gran importancia en el éxito de los proyectos. De esta forma la educación ambiental se vuelve más práctica y se puede consolidar a corto y largo plazo una educación ambiental para la restauración ecológica de la región.

La restauración ecológica es una actividad de largo plazo y por consiguiente quienes deben garantizar la continuidad de los proyectos son las poblaciones locales con apoyo de organizaciones locales, municipales, departamentales y nacionales.

Claves para emprender un proyecto de restauración ecológica con participación comunitaria (Cano y Zamudio, 2006). La comunidad debe ser contemplada como una unidad integral. Es necesario promover la participación de adultos (mujeres y hombres), jóvenes, niños y niñas y generar procesos de trabajo entre:

- a. Comunidad campesina: trabajadores agrícolas de diferentes edades y géneros.
- b. Comunidades indígenas.
- c. Comunidad escolar: profesores, padres de familia y alumnos.
- d. Entidades locales: asociaciones comunitarias, ONG, organizaciones indígenas, organizaciones ambientales, entidades estatales que participan en la conservación regional de los recursos.
- e. Investigadores de la conservación y restauración ecológica: biólogos, ecólogos, ingenieros forestales, antropólogos, sociólogos, geógrafos y trabajadores sociales.

Enfoques conceptuales

- Investigación acción participativa: mediante este enfoque se plantea a las comunidades como grupo investigador y transformador de su propia realidad.
- Conservación con base comunitaria: se refiere al manejo de recursos naturales a través de la participación de las comunidades.
- Manejo local de recursos: corresponde a la recuperación, conservación y protección de la flora y fauna en su hábitat natural, teniendo en cuenta la característica de los ecosistemas y el valor cultural que le otorgan las comunidades humanas.

Herramientas metodológicas

- Cartografía social: esta metodología considera el territorio como referente espacio-temporal y busca su representación por medio de la construcción colectiva de mapas, en donde se muestran las percepciones locales del entorno natural, político, económico y cultural.
- Recorridos territoriales: metodología que complementa la cartografía social. A través de ellos se puede precisar y actualizar la información consignada en los mapas de territorio.
- Conversatorios: son encuentros con diferentes participantes en los cuales se busca el diálogo de saberes sobre un tema específico. En ellos, aparecen puntos de vista distintos y se procura establecer consensos de opinión.

Recomendaciones

- Diseñar participativamente estrategias de acción para recuperar los elementos de los ecosistemas.
- Seleccionar las áreas donde se implementarán las acciones de restauración (fincas, áreas de interés comunitario, áreas de conservación).
- Integrar el conocimiento local y promover su aplicación en las estrategias de restauración.
- Difusión de técnicas de propagación de especies nativas y manejo de viveros e invernaderos.

- Integración del tema de la restauración ecológica en los programas académicos de los centros educativos.
- Realización de actividades prácticas e investigativas con los estudiantes de escuelas y colegios y los padres de familia.
- Fortalecimiento del conocimiento de los funcionarios públicos con relación a la restauración ecológica.
- Creación participativa de materiales que divulguen el conocimiento local y las acciones de restauración iniciadas (herbarios, plegables informativos, cartillas, boletines).
- Encuentros comunitarios en los cuales se reúnan diferentes tipos de participantes para intercambiar experiencias de Restauración ecológica.

Tanto para la conservación y restauración de ecosistemas es muy importante lograr que las instituciones del estado puedan ofrecer incentivos económicos a las comunidades o propietarios locales. En este sentido la conservación y restauración deben ir juntas puesto que el mantenimiento de servicios ambientales se logra tanto por la conservación como por la restauración ecológica. Con la restauración ecológica se recuperan servicios ambientales como agua, fijación de CO₂, suelo, biodiversidad y control de erosión, entre otros. Por esta razón es muy importante que quien demuestre recuperación de servicios ambientales, tenga una retribución económica.

Paso 6. Evaluar el potencial de regeneración. En la fase diagnóstica la evaluación del potencial de regeneración se refiere a la disponibilidad de especies en la región, su ubicación, abundancia, su etapa sucesional. El potencial de regeneración se define entonces, como el conjunto de especies nativas y trayectorias sucesionales que ofrece un paisaje. En esta fase se tiene una aproximación a las especies pioneras y a las especies de sucesión tardía, a las especies dominantes, codominantes y raras y sobre todo a las especies que potencialmente pueden ser utilizadas en experimentos y programas de restauración.

Algunas de las trayectorias sucesionales pueden servir como ecosistema o comunidad de referencia y es importante conocer muy bien su composición de especies, estratificación y los mecanismos de regeneración de las especies: bancos de semillas, bancos de plántulas, bancos de retoños y los mecanismos de dispersión en el paisaje. Muchas especies pueden estar extintas localmente, pero no regionalmente, por lo que es necesario tener muy claro el contexto regional.

Paso 7. Establecer los tensionantes para la restauración a diferentes escalas. Por tensionantes o barreras a la restauración ecológica se entiende todos aquellos factores que impiden, limitan o desvían la sucesión natural en áreas alteradas por disturbios naturales y antrópicos (Vargas *et al.*, 2007). Los tensionantes para la restauración ecológica pueden clasificarse en dos tipos: ecológicos y socioeconómicos. Los de tipo ecológico se relacionan con factores bióticos y abióticos resultantes del régimen de disturbios natural y antrópico, los cuales influyen en los diferentes mecanismos de regeneración y colonización de las especies, es decir, los procesos necesarios para que ocurra dispersión de propágulos (principalmente semillas), establecimiento de plántulas y persistencia de individuos y poblaciones de plantas. Los de tipo socioeconómico son todos los factores políticos, económicos y sociales que limitan los procesos de regeneración natural, principalmente los tipos de uso de la tierra.

- Tensionantes para la dispersión de las plantas
- Tensionantes para el establecimiento de las plantas
- Tensionantes para la persistencia de las plantas
- Tensionantes sociales

Tensionantes ecológicos

1. Fase de dispersión. Los tensionantes en la fase de dispersión de propágulos son causados generalmente por fragmentación y pérdida de hábitats y extensión de matrices de potreros, cultivos y especies exóticas. Estos tensionantes hacen referencia al destino de los propágulos (p. ej. el destino de las semillas). Los más comunes a la dispersión son:
 - Ausencia de polinizadores.
 - Ausencia de propágulos (principalmente semillas)
 - Ausencia de animales dispersores.
 - Corta longevidad de semillas y germinación impedida.
 - Ausencia de plantas niñeras, nodrizas o plantas facilitadoras.
 - Predación de semillas.
 - Ausencia de un banco de semillas del ecosistema original.
 - Matriz continua de pastos que impide la regeneración.
 - Presencia de especies invasoras o colonizadoras agresivas.
2. Fase de establecimiento. Comprende la germinación de semillas y el crecimiento y sobrevivencia de plántulas. Los tensionantes al establecimiento pueden clasificarse en dos grandes grupos relacionadas con factores abióticos y bióticos.

Factores abióticos

- Ausencia de micrositios para el establecimiento de las plántulas.
- Restricciones climáticas (sequía, heladas, inundaciones)
- Suelo inadecuado (erosión, compactación, contaminación, ausencia o exceso de nutrientes, pérdida de materia orgánica).

Factores bióticos

- Ausencia de micorrizas
- Hojarasca gruesa que impide el establecimiento.
- Herbivoría
- Competencia
- Presencia de especies invasoras

3. Fase de persistencia. La fase de persistencia hace referencia a que una especie una vez establecida pueda crecer y cumplir su ciclo normalmente, sin ser disminuida su biomasa o que algún factor le cause mortalidad. Ejemplos son:

Factores abióticos

- Restricciones climáticas (sequía, heladas, inundaciones)
- Fuegos naturales

Factores bióticos

- Competencia
- Herbivoría
- Plagas
- Presencia de especies invasoras

Factores sociales

- Pastoreo y agricultura
- Fuegos antrópicos
- Introducción de especies invasoras
- Corte

Paso 8. Seleccionar las especies adecuadas para la restauración. La selección de especies para la restauración es un aspecto muy importante, puesto que el éxito de los proyectos depende de la capacidad para dicha selección (Tabla 2). Del listado de especies y sus trayectorias sucesionales registrado en el potencial de regeneración, se seleccionan las especies más importantes bajo una escala de atributos o rasgos que pueden ser

útiles en los sitios que se van a restaurar. Por ejemplo, para áreas en donde hay que recuperar el suelo es muy importante combinar especies fijadoras de nitrógeno con especies que produzcan gran cantidad de hojarasca. En esta fase es necesario combinar el conocimiento de la gente y el conocimiento de expertos locales y científicos.

Atributos para la selección de plantas		
Morfológicos	Reproductivos	Otros
Planta completa *Hábito: arbusto, árbol, hierba *Altura	*Reproducción sexual *Reproducción vegetativa	Nivel poblacional: frecuencia, abundancia y tipo de distribución de la especie (individuos aislados o agrupaciones)
Copa *Forma de la copa *Cobertura de la copa (diámetro aproximado) *Densidad de follaje	Estrategia de dispersión de las semillas: *Zoocoria, anemocoria y/o barocoria (tipo de fruto)	Asociación *Tipo de asociación con otras especies nativas y/o exóticas *Presencia de micorrizas
Hoja *Área foliar específica. *Contenido de materia seca. *Cociente peso fresco / peso seco *Tipo de hoja	Estrategia de polinización *Ornitofilia, entomofilia o anemofilia (tipo de flor)	*Tolerancia a la luz *Resistencia a heladas *Fijadora de nitrógeno *Producción de hojarasca (diaria, semanal, mensual) *Defensas anti-herbívoros *Estado fitopatológico: nivel de ataque
	*Banco de semillas *Banco de plántulas *Banco de retoños	*Usos tradicionales y/o industriales potenciales: Protección márgenes hídricos y nacederos; Control erosión, recuperación de suelos y protección taludes; Cerca viva; Ornamental ; Barrera contra heladas *Prestación de Servicios Ambientales

Tabla 2. Ejemplo de atributos para tener en cuenta en la selección de especies (Adaptado de Rodríguez y Vargas, 2007).

Paso 9. Propagar y manejar las especies. Una vez seleccionadas las especies se presenta el problema de la consecución de material, dado que muchas especies no se consiguen en viveros locales, o las cantidades no son suficientes para las necesidades del proyecto. La propagación es la capacidad de las plantas para reproducirse, ya sea de forma sexual o vegetativa (asexual); la primera de estas se da por medio de semillas y la segunda mediante células, tejidos y órganos. Existen tres tipos de propagación vegetativa: 1. propagación por rizomas, estacas, esquejes, bulbos, tubérculos, estolones y segmentos de órganos como tallos y hojas; 2. propagación por injertos donde segmentos de una planta se adhieren a otra receptiva más resistente, de mejores características, y 3. propagación *in vitro*, en la cual células, partes de tejido u órganos son cultivados en condiciones controladas de laboratorio (Cardona, 2007).

Un problema muy común para la restauración ecológica, es la escasez de propágulos de especies pioneras que inicien la sucesión y de especies de estados sucesionales más avanzados que permitan no solo la recuperación de la estructura del ecosistema, sino también de la composición del mismo. La construcción de viveros o invernaderos es muy impor-

tante para la propagación y crecimiento permanente del material requerido. En ciertos casos, los costos de construcción de un vivero son altos. En estos casos es posible conseguir plántulas o rebrotes o sembrar directamente las semillas en el área a restaurar.

Paso 10. Seleccionar los sitios. La selección de los sitios a restaurar, o donde se van a realizar experimentos, debe hacerse cuidadosamente. En este paso ya hay un conocimiento de lo que sucede a diferentes escalas, principalmente como actúa el régimen de disturbios naturales y antrópicos. El conjunto de recomendaciones para la selección de los sitios hace referencia principalmente a una combinación de factores abióticos, bióticos y las poblaciones humanas locales (Vargas, 2007).

1. Ubicación en sitios accesibles. En lo posible buscar sitios accesibles. Las facilidades logísticas son de gran importancia para garantizar el éxito del proyecto. Se deben tener en cuenta los siguientes aspectos:
 - a. Vías o caminos de acceso, o sitios cercanos en donde no sea difícil el transporte de los materiales necesarios.
 - b. Fácil acceso para personas mayores y niños, con el fin de emprender acciones de participación y educación.
 - c. Facilidades para realizar la fase de monitoreo.
2. Áreas de interés comunitario. En los proyectos de restauración es muy importante que se discuta con la comunidad los sitios prioritarios para restaurar. Lo ideal es que la comunidad participe en la selección de los sitios, por algún interés especial relacionado con servicios ambientales, como agua, o para detener erosión, o por ser recursos de amplia utilización por las comunidades.
3. Definir si aún persisten en el sitio los disturbios y predecir si se pueden volver a presentar. Si no se eliminan de una forma definitiva los factores tensionantes es posible que el proyecto no sea viable. En algunos ecosistemas donde los disturbios hacen parte de su dinámica natural es importante restaurar la frecuencia de disturbios, como por ejemplo inundaciones, fuegos, hidrología. Tener en cuenta las recomendaciones de las comunidades locales en cuanto a fenómenos estacionales como inundaciones, fuegos, heladas.
4. Se debe explicar a las comunidades locales sobre el papel de los disturbios y perturbaciones en los procesos ecológicos.
5. Evaluar con las comunidades locales las actividades humanas, buscando la mayor compatibilidad posible con el proyecto. Evaluar si algunas prácticas culturales son compatibles con el desarrollo de proyectos de restauración. Por ejemplo el uso estacional de recursos.
6. Establecer si en el sitio o en sus alrededores se presentan poblaciones muy abundantes de pequeños herbívoros como conejos, curies, que se puedan convertir estacionalmente o permanentemente en una barrera por su impacto de herbivoría sobre especies nativas.
7. Se debe evaluar si hay especies invasoras en el sitio o en los alrededores y evitar que se introduzcan estas especies tanto de plantas como de animales. Planear actividades continuas con la comunidad, para el manejo de especies invasoras.
8. No es recomendable remover especies introducidas naturalizadas (no invasoras) que cumplen una importante función ecológica.

9. Evaluar los gradientes topográficos naturales y patrones de drenaje.
10. Restablecer el régimen del flujo hidrológico natural.
11. Evaluar el estado del suelo.

Paso 11. Diseñar estrategias para superar las barreras a la restauración. Se plantean cinco conjuntos de estrategias para superar las barreras a la restauración (Brown y Lugo, 1994; Vargas, 2007):

1. Basadas en la remoción y control de los tensionantes leves (frecuencia de quemas, sobrepastoreo, tasa de cosecha, erosión moderada).
2. Basadas en la adición de especies (plantas, animales o microorganismos) o materiales (fertilizantes, materia orgánica, agua).
3. Basadas en la regulación de la tasa de procesos ecosistémicos, es decir, los flujos entre los compartimientos (ej: regular composición y estructura del suelo para sincronizar liberación de nutrientes y captación vegetal de estos).
4. Basadas en remoción de tensionantes severos.
5. Basadas en regulación de fuentes de entradas de energía.

En algunos pastizales de los trópicos se han utilizado muchas estrategias, de las cuales, se destacan entre las más comunes: a) manejo de la regeneración natural, b) distribución de perchas para aves, artificiales y/o naturales, c) utilización de árboles aislados o vegetación remanente presente en el área a restaurar, d) incorporación de árboles de especies pioneras nativas, e) recolección y trasplante de plántulas presentes dentro de la misma área a restaurar o en los alrededores.

Otras acciones importantes son: a) dispersión manual de semillas, b) aprovechamiento de rebrotes, c) utilización de troncos en descomposición, d) formación de micrositos en los cuales se favorezca la germinación y crecimiento de las plántulas, e) sistemas agroforestales, f) aplicación de suelo donado proveniente del ecosistema de referencia, g) siembra de plántulas provenientes del banco de semillas, h) formación de islas de recursos o núcleos de facilitación, i) plantaciones forestales de especies nativas como catalizadoras de sucesión, j) uso del pastoreo para controlar el crecimiento de pastos y para ayudar a dispersar semillas, k) cercos vivos y barreras rompevientos, l) establecimiento y ampliación de corredores riparios, m) tratamiento o reemplazo de suelos degradados, n) formación de doseles, o) ampliación de bordes de bosque.

Todas las estrategias anteriores se pueden clasificar en: a) manipulación del ambiente físico, b) manipulación del ambiente químico, c) manipulación del ambiente biótico (Perrow y Davy, 2002). La participación comunitaria se debe tener en cuenta como una estrategia. A continuación se explican brevemente algunas de las estrategias más comunes en restauración ecológica (Vargas, 2007):

Eliminación de disturbios o barreras

- Erradicación de matrices de pastos invasores: para facilitar la recolonización por parte de especies nativas, es necesario eliminar de las zonas de restauración pastos que han colonizado estas áreas por causa de pastoreo y abandono de cultivos. Debido a que la mayoría de estas especies invasoras son altamente competitivas se requiere de varias estrategias como erradicación manual, competencia con otras especies y tratamientos de sombra para lograr un control efectivo.
- Creación de refugios artificiales para fauna: con la acumulación de troncos, piedras

y algo de vegetación, se pueden formar agrupaciones que pueden servir como albergues temporales o sitios de paso para fauna nativa. Mejorar las condiciones abióticas para el desplazamiento de las especies favorece simultáneamente la dispersión zoológica de muchas especies vegetales.

- Controlar los impactos del turismo mal dirigido: es importante que las comunidades locales y habitantes de la zona, reconozcan y valoren sus recursos naturales asociados a los páramos, por lo tanto se espera que las actividades turísticas puedan continuar de forma organizada. Para esto se requiere el establecimiento de una brigada ambiental local (entrenada en el manejo de los recursos y atención a los turistas), educación ambiental en escuelas y organizaciones locales, y establecimiento de un centro de información (Llambí *et al.*, 2005).
- Utilización de perchas artificiales para aves: con esta estrategia se busca aumentar la dispersión de semillas en potreros. Son estructuras en madera con diferentes arreglos, que permiten la llegada de aves a la matriz de pastizal, dando lugar a un aumento significativo de la tasa de deposición de semillas de plantas ornitócoras y la implantación de individuos que no llegan en condiciones naturales, teniendo consecuencias en la aceleración de la recuperación del bosque, así como en la acumulación de un banco de semillas del bosque.

Selección y propagación de especies

- Evaluación del banco de semillas: tomar muestras de suelo y hojarasca del sitio a restaurar para conocer su composición de especies y la distribución espacial de semillas (Moscoso y Diez, 2005). Con base en esta evaluación se podría determinar la capacidad de regeneración natural del ecosistema y cómo ha variado la estructura en consecuencia de las perturbaciones (Parker *et al.*, 1989; Bakker *et al.*, 1996). A partir del banco de semillas se puede obtener material vegetal para ser utilizado en el enriquecimiento de las áreas a restaurar.
- Propagación de material vegetal nativo adecuado para el sitio de intervención: a partir del ecosistema de referencia o de las áreas circundantes en buen estado de conservación se recolectan semillas y plántulas de especies de interés (Cole, 2007), lo cual evitaría los costos que implica la adquisición de semillas de vivero o individuos juveniles. La reintroducción de ciertas especies puede incrementar significativamente los niveles de materia orgánica y desencadenar el proceso de sucesión secundaria en áreas agropecuarias degradadas y abandonadas (Zahawi, 2005). Esta estrategia puede estar acompañada con fertilización y deshierbe, en el caso de pastizales (Román-D *et al.*, 2007).
- Uso de árboles remanentes: los árboles remanentes desempeñan un papel crítico en la recuperación de bosques naturales al aumentar la dispersión de semillas, mejorar las condiciones microclimáticas e incrementar los nutrientes del suelo. Debe alentarse la retención de algunos árboles semilleros en áreas intervenidas y la plantación o el mantenimiento de árboles en tierras agrícolas a fin de mejorar la calidad del hábitat mientras se usa la tierra para la agricultura y facilitar su recuperación si la tierra es abandonada.
- Siembra directa de semillas: debido a los disturbios, la continuidad del páramo se ve afectada y hay muchas especies que no forman banco de semillas o que este ha sido degradado por algún disturbio, por lo tanto, se puede superar esta barrera a la disper-

sión, adicionando propágulos en sitios donde difícilmente pueden llegar las especies por sus propios mecanismos, más aun cuando han perdido potenciales dispersores animales (Vargas *et al.*, 2007; Velasco y Vargas, 2007).

- Siembra de plántulas en parcelas de enriquecimiento: posterior a la propagación de semillas en condiciones de vivero o invernadero, las plántulas obtenidas se siembran en conjunto con especies fijadoras de N, o que tengan micorrizas para un mejor aprovechamiento de los nutrientes del suelo (Vargas *et al.*, 2007; Velasco y Vargas, 2007).
- Montaje de viveros locales: en asociación con las comunidades vecinas de las áreas a restaurar puede promoverse la propagación de diferentes especies utilizadas en las estrategias de forma que se de continuidad a procesos en escalas de tiempo mayores e igualmente pueden ser fuente para desarrollar otras estrategias.

Creación de micrositios y matrices de vegetación

- Siembra de especies niñeras facilitadoras: por facilitación se entiende el efecto positivo de una especie o cierto tipo de vegetación sobre el crecimiento, supervivencia y desarrollo de otra(s) especie(s), en comparación con unas condiciones existentes en el ambiente exterior. Se han desarrollado técnicas para restaurar potreros degradados en los trópicos por medio de la siembra de plántulas debajo de árboles, matorrales o cultivos niñeros; en estas estrategias se propone también sembrar especies de crecimiento rápido, que forman dosel en poco tiempo y que mejoran las condiciones del suelo al fijar nitrógeno o asociarse con micorrizas. La siembra de especies niñeras debe estar acompañada también de un conjunto más diverso de especies cuando no hay suficiente dispersión de propágulos en el sitio.
- Formación de núcleos activos de dispersión: por medio de la siembra de especies arbustivas y herbáceas nativas atrayentes de animales dispersores y polinizadores. Se utilizan individuos adultos, con altura superior a 1 m y que estén dispersando semillas o en floración. Con esto no solo se atrae fauna a la zona de restauración, también ayuda a la regeneración natural (Vargas *et al.*, 2007; Velasco y Vargas, 2007).
- Creación de un relieve microtopográfico para generar y aumentar los micrositios: por medio de pequeños aclareos en zonas donde el suelo está muy compactado, puede modificarse la estructura por medios mecánicos, creando espacios que puedan ser colonizados por las especies de la zona, permitiendo el flujo de gases y agua que serán aprovechados por propágulos que allí se encuentren. También se facilita la consecución de nutrientes porque la remoción aumenta la heterogeneidad del suelo (Vargas *et al.*, 2007; Velasco y Vargas, 2007).
- Siembra de especies arbustivas nativas atrayentes de polinizadores y dispersores: seleccionar especies nativas que sirvan para atraer diversos animales que actúen como dispersores o polinizadores de otras especies también, por lo tanto, estas especies deben ser generalistas en este aspecto.
- Regeneración natural: se debe utilizar en áreas poco perturbadas. En esta estrategia se utilizan los servicios de animales asociados a frutos y/o semillas de la región. Permite la creación de “núcleos” de regeneración que tienen la función de facilitar el establecimiento de nuevas plantas. Esta estrategia se basa en los principios de la sucesión ecológica, sin embargo no siempre es posible prever las características de las especies que llegarán. Una ventaja importante es el bajo costo, aunque su éxito dependerá de características climáticas y del paisaje regional (Rondón y Vidal, 2005).

- Ampliación de bordes utilizando bancos de plántulas y retoños: hacer rescate de plántulas y retoños de los parches de bosque existente y utilizarlos para el avance de los bordes del bosque (Acosta y Vargas-Ríos, 2007).
- Disturbios experimentales que inicien la sucesión: en ambientes transformados la inducción de un disturbio en el sistema logra generar las condiciones que pueden iniciar o reactivar un proceso sucesional, disminuir la presencia de especies invasoras, liberar recursos que permitan el establecimiento de especies nativas, entre otros. Los disturbios experimentales simulan unas condiciones específicas y sus variaciones dependen de los objetivos planteados, los cuales están sujetos a condiciones del sitio a restaurar: pueden enfocarse a controlar una especie invasora, reducir la influencia de una especie dominante y aumentar el recurso disponible como la especie de colonización, los nutrientes y el agua del suelo. Pueden efectuarse de manera manual o mecánica y pueden actuar de manera directa o indirecta. Con la aplicación de disturbios experimentales también se busca generar un cambio en el patrón sucesional, al reducir o eliminar la cobertura de las dominantes y con esto disminuir la competencia por el recurso. También busca reabastecer los recursos agotados, reducir la herbivoría, eliminar tóxicos acumulados en el sustrato, generar condiciones como mayor intensidad lumínica y ampliar fluctuaciones de temperatura, que estimulen la germinación de especies latentes en el banco de semillas.

Recuperación de suelos

- Remoción de vegetación epigea e hipogea: para facilitar el proceso de establecimiento de especies nativas, es necesario remover la vegetación que no es propia del ecosistema para dar espacio a la nativa. No solo basta remover las partes aéreas porque muchas de las plantas de páramos pueden reproducirse clonalmente, por lo cual hay que eliminar también el sistema radicular hasta donde sea posible, sin remover o alterar mucho el suelo.
- Enmiendas para mejorar condiciones del suelo: en sitios altamente deteriorados se requiere el enriquecimiento de nutrientes en el suelo, mediante el uso de enmiendas orgánicas y/o químicas. Los fertilizantes químicos poseen alta capacidad para suplir nutrientes escasos y pueden servir para obtener una cobertura vegetal rápidamente. Este tipo de resultados pueden ser útiles en casos donde es necesario recuperar algunas características ambientales, tales como cobertura vegetal protectora, estabilidad de suelos, o retención de agua en un corto tiempo, sin esperar recuperar la composición o estructura del ecosistema.
Por otra parte la enmienda orgánica puede aumentar el potencial de reforestación, especialmente en sitios altamente degradados, pero estudios realizados en áreas secas, han mostrado que este tipo de enmiendas puede causar alta mortalidad en las primeras etapas de las plántulas. Una enmienda orgánica muy utilizada para la recuperación de suelos en sitios altamente alterados son los biosólidos, obtenidos a partir de aguas residuales, que contienen altas cantidades de materia orgánica, fósforo (P), potasio (K) y alta humedad.
- Descompactación mecánica del suelo: en sitios disturbados principalmente por ganadería, porque el pisoteo del ganado modifica características hidráulicas del suelo, lo cual afecta el desarrollo del sistema radicular de las especies haciendo que sean más susceptibles de ser removidas fácilmente (Basset, 2005). Esta descompactación

puede hacerse con herramientas de labranza, de forma que no se genere una alteración más grave al usar maquinaria más pesada.

- Trasplante de suelo de zonas sin disturbio en bloques o desmoronado: con esta estrategia se busca introducir al ecosistema a restaurar: microfauna del suelo, varias fuentes de propágulos y enriquecimiento de nutrientes y se aprovecha la capacidad de algunas especies de tener semillas que se mantienen viables en el suelo, formando bancos de semillas que podrían expresarse cuando se den las condiciones necesarias (Vargas *et al.*, 2007; Velasco y Vargas, 2007). Esta estrategia puede propiciar la formación de pequeños nichos de regeneración y colonización, además de favorecer la variabilidad genética (Tres y Reis, 2007).
- Combinación de estrategias entre remoción de la vegetación superficial, adición de enmiendas y siembra de especies (Cole, 2007). Con esto se busca acelerar el proceso sucesional al realizar varios pasos simultáneamente que logren superar la barrera al establecimiento y reducir la escala de tiempo para la obtención de resultados.
- Restaurar la fertilidad del suelo dejando que los periodos de descanso entre cultivos sean más de cinco años. Del análisis de la biomasa microbiana se obtiene un buen estimativo del grado de disturbio debido a la agricultura (Llambí y Sarmiento, 1999).
- Empleo de endomicorizas: los hongos formadores de micorizas (HMVA) dependen de la planta para el suministro de carbono, energía y de un nicho ecológico, a la vez que entregan nutrientes minerales, especialmente los poco móviles como fósforo, también estimulan la producción de sustancias reguladoras de crecimiento, incrementan la tasa fotosintética, promueven ajustes osmóticos cuando hay sequía, aumento de la fijación de nitrógeno por favorecer a bacterias simbióticas asociativas, incrementan la resistencia a plagas, tolerancia a estrés ambiental, contribuyen a mejorar la agregación del suelo y ser mediadores de muchas de las acciones e interacciones de la microflora y microfauna que ocurren en el suelo, alrededor de las raíces. Luego de un disturbio forestal el inóculo de micorriza puede ser insuficiente, incrementar la densidad de micorizas a través de la inoculación es crucial para una regeneración exitosa, además se pueden reducir costos de producción, por la disminución de tiempo de permanencia de las plantas en el vivero. Se pueden variar las especies de HMVA que se emplean, las cuales pueden ser nativas o comerciales, la composición del inóculo el cual puede ser monoespecífico o poliespecífico y en cuanto al tipo de inóculo, que puede componerse de esporas aisladas, raicillas colonizadas por HMVA, suelo con esporas.

Una estrategia integral de conservación y restauración ecológica en paisajes rurales se conoce como: Herramientas de manejo del paisaje (Lozano-Zambrano, 2009). El objetivo principal de esta estrategia es aumentar la calidad de hábitats para fauna, aumentar cobertura nativa e incrementar la conectividad de elementos del paisaje rural, restaurando corredores de hábitats. Las principales estrategias utilizadas son:

- Conservación de remanentes de ecosistemas naturales, para lo cual se hacen cerramientos de bosques remanentes con cercas vivas de aislamiento.
- Enriquecimiento del bosque secundario con especies nativas.
- Ampliación de parches de bosque o cañadas.
- Incremento de la conectividad a través de la formación y restauración de corredores biológicos.

- Cercas vivas mixtas en fincas y ganadería sostenible.
- Mantenimiento y siembra de árboles dispersos en potreros.
- Participación de propietarios de fincas en todo el proceso.

Paso 12. Monitorear el proceso de restauración. Dentro de un proceso de restauración ecológica, el monitoreo consiste en el seguimiento y evaluación continuos de los cambios que experimenta el ecosistema, bajo los diferentes tratamientos de restauración aplicados. Este monitoreo constante tiene como objetivo final asegurar el éxito de la restauración ecológica, porque brinda la información necesaria para evaluar y ajustar las prácticas de restauración, de modo que puedan ser modificadas en cualquier momento; de esta manera, si los resultados obtenidos en los tratamientos aplicados son negativos o indeseables, dichos tratamientos se modifican o detienen; por el contrario, si se obtienen resultados positivos, estos tratamientos se continúan, multiplican, y si es posible, se mejoran (Brunner y Clark, 1997; Block *et al.*, 2001; Díaz, 2007).

El diseño del programa de monitoreo debe realizarse en el mismo momento en el que se plantean los objetivos de la restauración y se planean los tratamientos que serán aplicados. De esta manera, un monitoreo ecológico efectivo se entiende como un proceso que acompaña al proceso de restauración desde el diagnóstico del estado actual del ecosistema, y continúa durante la implementación de los tratamientos y el desarrollo de los mismos, terminando en el momento en que se considera que el ecosistema ha recuperado su integridad ecológica (Holl y Cairns, 2002). En el diseño de un programa de monitoreo para la restauración ecológica, es importante tener en cuenta los siguientes aspectos (Díaz, 2007):

1. Definir los objetivos del programa de monitoreo en el mismo momento en que se definen los objetivos de la restauración ecológica, y en concordancia con estos.
2. Establecer las escalas espaciales y temporales (monitoreo a corto y largo plazo), en las cuales se desarrollarán la restauración ecológica y el programa de monitoreo.
3. Seleccionar los parámetros que se han de monitorear e indicadores ecológicos adecuados para evaluar su desempeño.
4. Escoger la metodología adecuada para el monitoreo de los diferentes indicadores ecológicos.

Tipos de monitoreo en restauración ecológica. Uno de los puntos importantes a tener en cuenta al diseñar el programa de monitoreo, es que existen dos tipos de monitoreo relevantes en restauración ecológica: el monitoreo de implementación o de corto plazo y el monitoreo de efectividad o de largo plazo (Block *et al.*, 2001). El monitoreo de implementación busca evaluar si los tratamientos de restauración se llevaron a cabo como fueron diseñados, cuantificando los cambios que ocurren en el ecosistema inmediatamente después de los tratamientos. Este seguimiento de los primeros cambios en el ecosistema en restauración, permite determinar si la estrategia de manejo implementada está cumpliendo con el objetivo propuesto, lo cual se logra a través del análisis de la respuesta del sistema ecológico a escalas espaciales y temporales pequeñas. Este monitoreo permite ajustar las estrategias de manejo rápidamente, cuando los resultados de la evaluación indican que los cambios en el ecosistema están tomando direcciones indeseadas.

En el monitoreo de efectividad se busca determinar si se cumplió con el objetivo último de la restauración, mediante análisis realizados a escalas espacio-temporales más

grandes. En este monitoreo se evalúa si los principales patrones y procesos ecológicos del ecosistema se recuperaron. La información obtenida en este monitoreo, permite además redefinir los objetivos de restauración ecológica y ajustar la estrategia de manejo (Herrick *et al.*, 2006).

La elección de los indicadores ecológicos para el monitoreo de la restauración. Uno de los pasos cruciales en el diseño del monitoreo, es la selección de indicadores adecuados. Estos son variables que permiten evaluar el estado del ecosistema en cualquier punto del proceso de restauración, con respecto a los objetivos de restauración. En el momento de definir estas variables, es importante elegir aquellas que cumplan con ciertas características, entre las cuales se destacan las siguientes (véase Díaz, 2007):

- Ser definibles claramente.
- Ser fácilmente medibles e interpretables.
- Ser útiles para múltiples análisis.
- No tener carácter destructivo.
- Brindar el máximo de información por unidad de área.
- Proveer información con respecto al incremento en las características deseables y la reducción de las no deseables.

El plan de restauración entonces debe tener las siguientes características:

- Los datos recopilados y los resultados deben ser acumulativos y estar disponibles para futuras experiencias de restauración.
- La eficiencia de los datos tomados debe ser maximizada y los costos minimizados para garantizar un menor esfuerzo de muestreo
- El monitoreo debe realizarse a diferentes escalas que correspondan con los objetivos propuestos.
- Se deben seleccionar atributos fáciles de monitorear, los cuales permitan tener datos en mediciones repetidas en el tiempo.
- Los protocolos de seguimiento y toma de datos deben ser claramente delineados para que puedan tener continuidad.

Paso 13. Consolidar el proceso de restauración.

La consolidación de un proyecto de restauración implica que se han superado casi todas las barreras a la restauración y que el ecosistema marcha de acuerdo a los objetivos planteados, las labores de mantenimiento y monitoreo deben indicar que el proceso marcha satisfactoriamente y el ecosistema empieza a mostrar variables de autosostenimiento, como enriquecimiento de especies, recuperación de fauna, restablecimiento de servicios ambientales relacionados con calidad del agua y suelo. La importancia de consolidar áreas en proceso de restauración se fundamenta en los siguientes aspectos (Vargas, 2007):

1. Garantizan la permanencia de procesos que se pueden monitorear a largo plazo.
2. Permiten ajustar trayectorias sucesionales del ecosistema que se pretende restaurar, según los resultados del monitoreo.
3. Consolidan el conocimiento de las especies adecuadas (tasas de crecimiento, estrategias reproductivas).
4. Se ponen a prueba conocimientos en ecología.
5. Facilitan el ensayo de nuevos grupos de especies sucesionales tempranas y tardías, dentro del potencial total de regeneración del ecosistema.

6. Se recupera adecuadamente fauna nativa, principalmente su estructura trófica.
7. Son áreas permanentes de investigación, educación y divulgación para conservación y restauración de ecosistemas.
8. Generan conocimiento aplicable a otras áreas del mismo ecosistema y a otros tipos de ecosistemas.
9. Permiten que las comunidades locales (niños y niñas, jóvenes y adultos), tengan una participación permanente en los programas de restauración.
10. Permiten que los funcionarios locales tengan actividad en todas las fases de los proyectos de restauración.
11. Centralizan esfuerzos de instituciones de orden nacional, regional y local y consolidan grupos de investigación de instituciones académica.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a los biólogos Sandra Reyes, Pilar Gómez y Julián Díaz toda su colaboración en la elaboración de este artículo. Este trabajo hace parte de un trabajo más amplio de lineamientos para la restauración ecológica de los ecosistemas de Colombia que el Grupo de Restauración Ecológica de la Universidad Nacional elaboró para el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.

BIBLIOGRAFÍA

- ACOSTA M, VARGAS-RÍOS O. Ampliación de fragmentos de bosque altoandino. En: Orlando Vargas-Ríos, editor. Estrategias para la restauración ecológica del bosque altoandino. El caso de la Reserva Forestal de Cagua, Cundinamarca. Segunda edición. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá; 2007.
- AIDE TM, CAVELIER J. Barriers to lowland tropical forest restoration in the Sierra Nevada de Santa Marta, Colombia. *Restor Ecol.* 1994;2:219-229.
- BAKKER J, PSCHLOD P, STRYKSTRA R, BEKKER R, THOMPSON K. Seed banks and seed dispersal: important topics in restoration ecology. *Acta Bot Neerl.* 1996;45(4):461-490.
- BASSET I, SIMCOCK R, MITCHELL D. Consequence of soil compactation for seedling establishment: implications for natural regeneration and restoration. *Austral Ecol.* 2005;30:827-833.
- BLOCK WM, FRANKLIN AB, WARD JP JR, GANEY JL, WHITE GC. Design and implementation of monitoring studies to evaluate the success of ecological restoration on wildlife. *Restor Ecol.* 2001;9(3):293-303.
- BROWN S, LUGO AE. Rehabilitation of tropical lands: a key to sustaining. *Restor Ecol.* 1994;2(2):97-111.
- BRUNNER RD, CLARK TW. A Practice-based Approach to Ecosystem Management. *Conserv Biol.* 1997;11:48-58.
- CAIRNS J. Disturbed Ecosystems as Opportunities for Research in Restoration Ecology. En: Jordan, W.R., Gilpin, M. Aber, J. (Eds.). *Restoration Ecology. A Synthetic Approach to Ecological Research.* Cambridge University Press; 1987. p. 307-320.
- CANO I, ZAMUDIO N. Recuperar lo nuestro: una experiencia de restauración ecológica con participación comunitaria. O. Vargas y Grupo de Restauración Ecológica

(eds). Universidad Nacional de Colombia, Acueducto de Bogotá, Jardín Botánico, DAMA; 2006.

CANO I, VARGAS O. Lograr la participación comunitaria. En: O. Vargas (ed.). Guía Metodológica para la restauración ecológica del bosque altoandino. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá; 2007.

CARDONA A. Propagación de especies En: O. Vargas (ed.) Guía Metodológica para la restauración ecológica del bosque altoandino. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá; 2007.

CARRIZOSA J. La selva andina. En: Carrizosa-U. Hernández-C J (eds). Selva y Futuro. Bogotá: El Sello Editorial; 1990.

CAVELIER J. Selvas y Bosques Montanos. En: Chavez ME, Arango N. (eds.). Informe nacional sobre el estado de la biodiversidad Colombia. Tomo I. Diversidad Biológica. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, Colombia; 1997.

CAVELIER J, LIZCANO D, PULIDO MT. Colombia. En: M. Kappelle A. Brown (eds) Bosques nublados del neotrópico. Instituto Nacional de Biodiversidad INBio. Costa Rica; 2001.

COLE D. Seedling Establishment and Survival on Restored Campsites in Subalpine Forest. *Restor Ecol.* 2007;15(3):430-439.

COLLINS S. Interaction of disturbances in *Tallgrass prairie*: a field experiment. *Ecology.* 1987;68(5):1243-1250.

DÍAZ R. El monitoreo en la restauración ecológica. En: O. Vargas (ed.). Guía Metodológica para la restauración ecológica del bosque altoandino. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá; 2007.

DÍAZ-P S. El medio ambiente colombiano y los cultivos ilícitos. *Rev Acad Colomb Cienc.* 1998;XXII(83):173-186.

EHRENFELD JG. Defining the Limits of Restoration: The Need for Realistic Goals. *Restor Ecol.* 2000;8(1):2-9.

ETTER A. Bosque húmedo tropical. En: Chavez. M, Arango N. (eds.). Informe nacional sobre el estado de la biodiversidad Colombia 1997. Tomo I. Diversidad Biológica. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. SantaFé de Bogotá, Colombia; 1998. p. 106-133.

GLEEN-LEWIN DC, VAN DER MAAREL E. Patterns and Processes of Vegetation Dynamics. En: D.C. Gleen-Lewin, R. Peet y Th. Veblen (Eds). *Plant Succession. Theory and Prediction.* Chapman and Hall; 1992. p. 11-59.

HERNÁNDEZ-CJ. Comentarios preliminares sobre la paramización en los Andes de Colombia. Premio a la vida y obra 1997. Fondo Fen Colombia; 1997.

HERRICK JE, SCHUMAN GE RANGO A. Monitoring Ecological Processes for Restoration Projects. *J Nat Conserv.* 2006;14:161-171.

HOLL K. Factors limiting tropical rain forest regeneration in abandoned pasture: seed rain, seed germination, microclimate and soil. *Biotropica.* 1999;31(2):229-242.

HOLL K, CAIRNS J. Monitoring and appraisal. En: Perrow MR, Davy AJ (Eds.). *Handbook of Ecological Restoration.* Cambridge U.K.: Cambridge University Press; 2002. p. 411-432.

KLEJIN D. Can establishment characteristic explain the poor colonization success of late successional grassland species on exarable land?. *Restor Ecol.* 2003;11(2):131-138.

LAKE PS. On the Maturing of Restoration: Linking Ecological Research and Restoration. *Ecol Manag Restor.* 2001;2(2):110-115.

LLAMBÍ LD, SARMIENTO L. Ecosystem restoration during the long fallow periods in the traditional potato agriculture of the Venezuelan High Andes. En: Price, M. (Ed). *Global Change in the Mountains: Proceeding of the European Conference of Environmental and Societal Change in Mountain Regions*. New York: Parthenon Publishing; 1999. p. 190-192.

LLAMBÍ LD, SMITH J, PEREIRA N, PEREIRA A, VALERO F, MONASTERIO M, DÁVILA M. Participatory planning for biodiversity conservation in the high tropical Andes: are farmers interested?. *Mt Res Dev.* 2005;25(3):200-205.

LOZANO-ZAMBRANO FH. (ed). *Herramientas de manejo para la conservación de biodiversidad en paisajes rurales*. Instituto de Investigación de los Recursos Biológicos Alexander von Humboldt y Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR) Bogotá D.C., Colombia; 2009.

LUTEYN J. Páramos: why study them? In: Baslev J. Luteyn L. (Eds.). *Paramo and Andean ecosystem under human influence*. Academic Press; 1999.

KATTAN GH. Fragmentación. Patrones y mecanismos de extinción de especies. En: Guariguata, M. Kattan G. (Eds). *Ecología de la conservación de bosques neotropicales*. Libros Universitarios Regional. Costa Rica; 2002.

MENDOZA J, ETTER A. Multitemporal analysis (1940-1996) of land cover changes in the southwestern Bogotá Highplain (Colombia). *Landscape Urban Plan.* 2002;59:147-158.

MELI P. Restauración ecológica de bosques tropicales: veinte años de investigación académica. *Interciencia.* 2003;28(10):581-589.

MOREIRA A. Effects of Fire Protection on Savanna Structure in Central Brazil. *J Biogeog.* 2000;27,1021-1029.

MOSCOSO L, DIEZ M. Banco de semillas en un bosque de roble de la cordillera central colombiana. *Rev Fac Nal Agr Medellín.* 2005;58(2):2931-2943.

NOBLE IR, SLATYER RO. The use of vital attributes to predict successional change in plant communities subjects to recurrent disturbances. *Vegetation.* 1980;43:5-21.

PARKER V, SIMPSON R, LECK M. Pattern an process in the dynamics of seed banks. En: Leck M, Parker V, Simpson R. (Eds.) *Ecology of Soil Seed Banks*. San Diego, California: Academic Press Inc.; 1989.

PERROW MR, DAVY AJ. *Handbook of Ecological Restoration*. Cambridge University Press; 2002.

PICKETT ST, WHITE P. *The ecology of natural disturbance and patch dynamics*. San Diego, California: Academic Press Inc.; 1985.

RANGEL JO. *Colombia diversidad biótica III, la región de vida paramuna de Colombia*. Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia. Instituto Alexander von Humboldt. Bogotá, Colombia; 2000.

RODRÍGUEZ BM, VAN HOOFF B. *Desempeño ambiental del sector palmero en Colombia: Evaluación y perspectivas*. Fedepalma. Bogotá D.C., Colombia; 2004.

RODRÍGUEZ N, VARGAS O. Especies leñosas nativas claves para la restauración ecológica del embalse de Chisacá, basados en rasgos importantes de su historia de vida. En: O. Vargas (ed.). *Restauración ecológica del bosque altoandino*. Estudios

Diagnósticos y experimentales en los alrededores del embalse de Chisacá (Localidad de Usme, Bogotá D.C.). Universidad Nacional de Colombia y Acueducto de Bogotá; 2007. p. 181-198.

ROMÁN-DF, LEVY TS, PERALES RH, RAMÍREZ MN, DOUTERLUNGNE D, LÓPEZ MENDOZA S. Establecimiento de seis especies arbóreas nativas en un pastizal degradado en La Selva Lacandona, Chiapas, México. *Ecología Aplicada*. 2007;6:(1,2).

RONDÓN JA, VIDAL R. Establecimiento de la cubierta vegetal en áreas degradadas (Principios y métodos). *Rev For Lat*. 2005;38,63-82.

SER. Society for Ecological Restoration International Science, Grupo de Trabajo sobre Ciencia y Política. Principios de SER Internacional sobre restauración ecológica. www.ser.org y Tucson: Society for Ecological Restoration International; 2004.

TRES D, REIS A. La nucleación como propuesta para la restauración de la conectividad del paisaje. II Simposio Internacional sobre restauración ecológica. 2007. http://iras.ufsc.br/images/stories/cuba_paisagem_deisy.pdf

VAN DEN BERG L, KELLNER K. Restoring degraded patches in a semi-arid rangeland of South Africa. *J Arid Environ*. 2004;61(2005):497-511.

VAN DER HAMMEN TH. Historia, ecología y vegetación. Corporación Colombiana para la Amazonia (COA) Bogotá; 1992.

VAN DIGGELEN R, GROOTJANS AP, HARRIS JA. Ecological Restoration: State of the Art or State of the Science?. *Restor Ecol*. 2001;9(2):115-118.

VARGAS O. Guía Metodológica para la restauración ecológica del bosque altoandino. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá; 2007.

VARGAS O, DÍAZ A, TRUJILLO L, VELASCO P, DÍAZ R, LEÓN O, MONTENEGRO A. Barreras para la restauración ecológica. En: Vargas O. (ed). Estrategias para la restauración ecológica del bosque altoandino. Universidad Nacional de Colombia - Colciencias. 2007. p. 46-66.

VELASCO P, VARGAS JO. Problemática de los bosques altoandinos. En: Orlando Vargas-Ríos y Grupo de Restauración Ecológica (Eds.). Estrategias para la restauración ecológica del bosque altoandino. El caso de la Reserva Forestal de Cagua, Cundinamarca. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias. Colciencias. Bogotá; 2007.

VELASCO HA. Las zonas áridas y semiáridas: sus características y manejo. Editorial Limusa S.A. México; 1991.

ZAHAWI RA. Establishment and growth of living fence species: An overlooked tool for the restoration of degraded areas in the tropics. *Restor Ecol*. 2005;13(1):92-102.